

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
15 avril 2004 (15.04.2004)

PCT

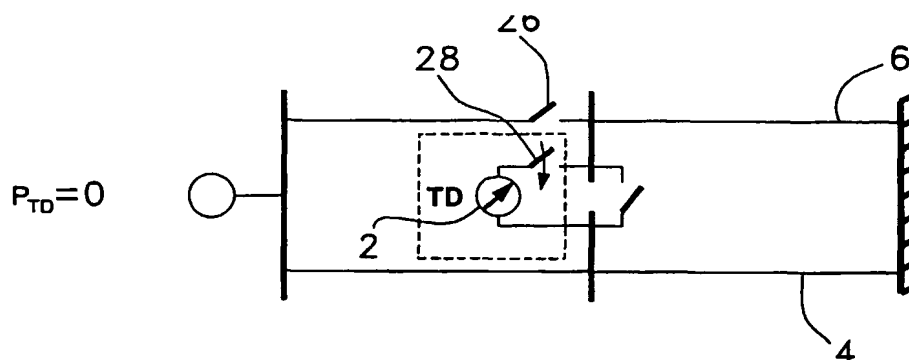
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/032300 A1**

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H02G 7/16
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/CA2003/001488
- (22) Date de dépôt international : 1 octobre 2003 (01.10.2003)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
2,406,368 3 octobre 2002 (03.10.2002) CA
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : CITEQ [CA/CA]; 1501 Boul. Lionel-Boulet, Varennes, Québec J3X 1P9 (CA).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BROCHU, Jacques [CA/CA]; 582, Capitaine-Bernier, Boucherville, Québec J4B 2Y5 (CA). CLOUTIER, René [CA/CA]; 1101, des Roitelets, app. 602, Chicoutimi, Québec G7H 8A5 (CA). BERGERON, André [CA/CA]; 2562, rue Fiset, Jonquière, Québec G7S 4Z1 (CA).
- (74) Mandataire : MORIN, Luc; ROBIC, 55, rue St-Jacques, Montreal, Québec H2Y 3X2 (CA).
- (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR DEICING ENERGIZED ELECTRICAL TRANSMISSION LINES

(54) Titre : METHODE DE DEGLAÇAGE DE LIGNES ELECTRIQUES SOUS CHARGE



(57) Abstract: The invention concerns a method for deicing energized electrical transmission lines by means of an apparatus capable of producing an angular offset between its terminals. The method consists in: selecting segments (4, 6) of electrical transmission lines to be deiced, connecting the segments (4, 6) so as to form a loop, connecting the apparatus in series with the segments (4, 6) of the loop to be deiced. In the case of an apparatus with adjustable angular offset, it consists in switching on the apparatus and adjusting the angular offset to impose an increase of current flowing in at least one of the segments (4, 6) as the case may be. In the case of a apparatus with fixed angular offset, it consists in using a switch (54) or a circuit breaker (28) so as to connect the apparatus in the loop, the apparatus and the line segments being previously selected such that the angular offset imposes the required current increase to the deicing of at least one of the segments (4, 6) of the loop.

(57) Abrégé : Méthode de déglacage de lignes électriques sous charge à l'aide d'un appareil apte à produire un décalage angulaire entre ses bornes. On choisit des segments (4, 6) de lignes électriques à déglacer. On connecte les segments (4, 6) de manière à former une boucle. On raccorde l'appareil en série avec les segments (4, 6) de la boucle à déglacer. Dans le cas d'un appareil à décalage angulaire ajustable, on met l'appareil en service et on ajuste le décalage angulaire pour imposer une augmentation de courant circulant dans au moins un des segments (4, 6) de la boucle, causant ainsi le déglacage du ou des segments (4, 6) selon le cas. Dans le cas d'un appareil à décalage angulaire fixe, on utilise un interrupteur (54) ou

[Suite sur la page suivante]



SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

un disjoncteur (28) afin de mettre l'appareil en circuit dans la boucle, l'appareil et les segments de lignes étant préalablement choisis pour que le décalage angulaire impose l'augmentation de courant nécessaire au déglacage d'au moins un des segments (4,6) de la boucle.

# MÉTHODE DE DÉGLAÇAGE DE LIGNES ÉLECTRIQUES SOUS CHARGE

## CHAMP DE L'INVENTION

L'invention porte en général sur le déglacage de lignes électriques, et plus particulièrement sur une méthode de déglacage de lignes électriques sous charge à l'aide d'un appareil apte à produire un décalage angulaire ajustable ou fixe entre ses bornes.

## 0 HISTORIQUE

Les brevets US 4,082,962 (Burgsdorf et al.), 4,085,338 (Genrikh et al.) et 4,126,792 (Genrikh et al.) montrent des dispositifs et systèmes de déglacage de réseaux haute-tension et de lignes de transmission de puissance par circulation de courant continu obtenu à l'aide d'un circuit redresseur. Les lignes à déglacer doivent être mises temporairement hors service pour effectuer l'opération de déglacage. Dans certains cas, il faut ajouter des dispositifs supplémentaires dans le réseau avant de pouvoir effectuer une opération de déglacage, tel un circuit de mise à la terre des lignes à déglacer.

## SOMMAIRE

Un objet de la présente invention est de proposer une méthode de déglacage de lignes électriques sous charge, par exemple dans un poste d'un réseau de transport alternatif ou dans un poste, ou le long d'une ligne, d'un réseau de distribution alternatif.

Un autre objet de la présente invention est de proposer une méthode de déglacage présentant les qualités requises pour solutionner la problématique du verglas dans les régions touchées par ce type de précipitation.

La présente invention concerne une méthode de déglacage de lignes électriques sous charge par circulation de courant

alternatif à l'aide d'un appareil apte à produire un décalage angulaire ajustable entre ses bornes, comprenant:

choisir des segments de lignes électriques à déglacer;

connecter les segments de manière à former une boucle;

raccorder l'appareil en série avec les segments de la boucle à déglacer;

mettre l'appareil en service; et

ajuster le décalage angulaire de l'appareil pour imposer une augmentation de courant circulant dans au moins un des segments de la boucle, causant ainsi le déglacage dudit au moins un des segments de la boucle.

La présente invention concerne également une méthode de déglacage de lignes électriques sous charge à l'aide d'un appareil apte à produire un décalage angulaire fixe entre ses bornes, comprenant:

choisir des segments de lignes électriques à déglacer;

connecter les segments de manière à former une boucle;

raccorder l'appareil en série avec les segments de la boucle à déglacer;

mettre l'appareil en service; et

mettre l'appareil en circuit dans la boucle, l'appareil et les segments de lignes étant préalablement choisis pour que le décalage angulaire impose une augmentation de courant circulant dans au moins un des segments de la boucle, causant ainsi le déglacage dudit au moins un des segments de la boucle.

#### DESCRIPTION BRÈVE DES DESSINS

Une description détaillée des réalisations préférées de l'invention sera donnée ci-après en référence avec les dessins suivants, dans lesquels les mêmes numéros font référence à des éléments identiques ou similaires:

Figures 1A-C sont des diagrammes schématiques montrant l'effet d'un transformateur-déphaseur sur la circulation de

courant alternatif dans des lignes électriques à déglacer, à différents points d'opération, selon la présente invention.

Figures 2A-B sont respectivement un diagramme schématique d'un transformateur-déphaseur à deux noyaux pouvant être utilisé selon l'invention, et le schéma des phaseurs correspondants.

Figures 3A-C sont des diagrammes schématiques équivalents d'un transformateur-déphaseur où (A) représente le circuit de séquence directe, (B) représente le circuit de séquence directe en répartition de puissance et (C) représente le circuit de séquence homopolaire en court-circuit.

Figure 4 est un diagramme schématique montrant des modes d'utilisation des transformateurs-déphaseurs et la convention de signe utilisée ici.

Figure 5 est un diagramme schématique montrant le type de transformateur-déphaseur assisté à employer suivant son mode d'exploitation.

Figure 6 est un diagramme schématique montrant un raccordement d'un déglaceur de ligne sous charge selon l'invention à un jeu de barres 315 kV d'un poste cible.

Figure 7 est un diagramme schématique montrant un accroissement de transit par conversion d'un transformateur-déphaseur en transformateur-déphaseur assisté, selon la présente invention.

Figures 8A-B sont respectivement un diagramme schématique d'un réseau et un schéma montrant un plan  $P-\delta_{sr}$  selon la présente invention.

Figure 9 est un diagramme montrant des caractéristiques d'un transformateur-déphaseur assisté pour deux valeurs d'angle interne, selon la présente invention.

Figures 10A-B sont des diagrammes schématiques montrant deux méthodes de mise en service d'un transformateur-déphaseur selon la présente invention.

Figures 11A-B sont des schémas montrant les plans  $P-\delta_{sr}$  selon les méthodes respectives de mise en service selon la présente invention.

Figures 12A-B sont des schémas montrant les plans  $P-\delta_{sr}$  et le choix de condensateur d'un transformateur-déphaseur assisté selon les lignes à déglacer.

Figures 13A-B sont des schémas montrant les plans  $P-\delta_{sr}$  lors d'un déglacage de lignes en mode transformateur-déphaseur et en mode transformateur-déphaseur assisté  
10 respectivement, selon la présente invention.

Figures 14A-C sont des diagrammes schématiques montrant des exemples de raccordements d'un déglaceur de ligne sous charge de type transformateur-déphaseur en série avec une ligne de distribution, selon la présente invention.

Figure 15 est un diagramme schématique montrant un exemple de raccordement d'un déglaceur de ligne sous charge de type transformateur-déphaseur au niveau d'un poste de répartition, selon la présente invention.

Figure 16 est un tableau de la caractéristique  
20 puissance-angle d'un transformateur-déphaseur, selon la présente invention.

#### DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES RÉALISATIONS PRÉFÉRÉES

L'appareil selon l'invention permet de procéder au déglacage préventif et correctif de lignes dont les tensions nominales se situent typiquement, mais non limitativement, entre 25 à 315 kV. Pour cette raison, l'appareil peut être dénommé Déglaceur de Lignes Sous Charge (ci-après référé par DLSC).

30 Le DLSC impose une circulation de courant alternatif dans les circuits de lignes bouclées entre elles pour chauffer les conducteurs par effet Joule. Il peut être réalisé à l'aide de technologies classiques et éprouvées telles que transformateur-déphaseur (TD), condensateur et

disjoncteur. Sa mise en service et son exploitation peuvent se faire en ne manoeuvrant que des disjoncteurs (aucun sectionneur), ce qui le rend insensible au verglas. On peut donc, par télécommande, raccorder successivement plusieurs lignes d'une région cible au DLSC sans aucune interruption de charge, d'où son nom. Les lignes les plus stratégiques peuvent être chauffées avant et pendant une tempête verglas pour prévenir la formation de glace.

10 La justification économique du DLSC à certains postes peut ne reposer que sur son utilisation comme déglaceur. Il faut toutefois souligner qu'il est possible que dans d'autres régions, sa capacité de commander les écoulements de puissance ou d'autres paramètres du réseau puisse être mise à profit tout au long de l'année.

Le terme DLSC est utilisé pour faire référence à la fonction de l'appareil plutôt qu'aux technologies employées pour le réaliser. Tout dépendant des lignes que l'on déglace, on montre que le DLSC peut être constitué d'un TD seulement ou d'un TD en parallèle avec un condensateur. On dit que le 20 TD est assisté lorsqu'il est utilisé conjointement avec un condensateur. Un TDA (transformateur-déphaseur assisté) se comporte comme un TD du point de vue du transit de la puissance active.

Outre le TD et le TDA, d'autres appareils peuvent être envisagés pour injecter une tension alternative en série avec des lignes à déglacer. Par exemple, un appareil de type FACTS (Flexible AC Transmission System) comme le SCCC (Static Synchronous Series Compensator) pourrait être considéré là où un réglage rapide des transits de puissance serait jugé utile 30 en dehors des périodes de verglas. On peut étendre la technique de déglacage par circulation de courant à d'autres niveaux de tension que ceux considérés ici.

Les Figures 1A-C fournissent trois exemples illustrant le principe de fonctionnement du déglacage par circulation de

courant. On montre l'effet d'un TD 2 dans un réseau élémentaire constitué de deux lignes 4, 6 parallèles reliant une barre de génération 8 à une barre d'équilibre 10. Pour fins de simplification, le TD 2 est supposé ici idéal (sans impédance de fuite) et les lignes 4, 6 sont sans perte.

Dans le premier cas illustré à la Figure 1A, le TD 2 impose à ses bornes un décalage angulaire  $\psi$  nul de sorte que la puissance  $P$  de la source est transportée en parts égales par les deux lignes 4, 6 vers la barre d'équilibre 10.

10 Dans le second exemple illustré à la Figure 1B, le décalage angulaire  $\psi$  du TD 2 est choisi de manière à réduire le courant  $I$  de la ligne 4 où il se trouve à zéro. On remarque en effet que le décalage angulaire  $\psi$  du TD 2 est égal à l'angle qui apparaît aux bornes des deux lignes; il n'y a donc plus d'écart angulaire aux bornes de la ligne 4 en série avec le TD 2, ce qui force le courant de celle-ci à zéro. Cet effet peut également être interprété comme étant dû à la circulation d'un courant de  $-0,5$  pu qui annule le courant de  $0,5$  pu dans la ligne 4 où se trouve le TD 2 et  
20 augmente le courant dans l'autre ligne 6 à un peu plus de  $1,0$  pu.

On obtient donc une concentration de tout le courant de la charge dans une seule (6) des deux lignes 4, 6. Du point de vue de l'écoulement de la puissance active, cette situation est équivalente au retrait de la ligne 4 où se trouve le TD 2. Du point de vue de la fiabilité d'exploitation, la concentration du courant de charge au moyen du TD 2 est cependant meilleure puisque les deux lignes 4, 6 demeurent en service.

30 En troisième lieu, tel qu'illustré à la Figure 1C, on montre finalement un exemple où on a choisi de forcer dans la ligne 4 en série avec le TD 2 un courant  $I$  de  $1,02$  qui va de la barre infinie 10 vers la barre de génération 8. On remarquera que ce courant est égal en amplitude mais de signe



inversé au courant obtenu dans le second cas (Figure 1B). Par rapport au cas initial (Figure 1A), la ligne 6 que l'on cherche à déglacer porte maintenant un courant quatre fois plus grand. C'est la circulation d'un tel courant élevé qui permet de chauffer et déglacer les conducteurs par effet Joule.

10 Ce dernier cas permet de souligner une particularité du déglacage par circulation de courant. En modifiant les angles du réseau, le TD 2 agit directement sur les écoulements de puissance active. Dans le dernier cas (Figure 1C), on notera effectivement que le courant de 1,02 pu qui circule dans la ligne 4 en série avec le TD 2 se traduit par un transit de puissance active de 1,0 pu tout comme pour le courant de 1,02 pu obtenu dans la ligne 6 du second cas (Figure 1B). Le courant de circulation que l'on associe à l'effet du TD 2 est donc un courant principalement actif plutôt que réactif.

20 Les TD sont utilisés pour modifier les écoulements de puissance des lignes subissant des écarts angulaires anormaux à leurs bornes. Suivant les applications, ils sont utilisés en série avec les lignes de transport pour augmenter ("boost") ou réduire ("buck") la puissance transitée. On compte actuellement une centaine de TD en Amérique du Nord.

Il existe plusieurs topologies de TD tout dépendant du niveau de tension où l'on se trouve et des conditions d'exploitation envisagées à leurs bornes. Voir à ce sujet: IEEE FACTS WG, "Current activity in flexible AC transmission systems", IEEE, No. 92 TH 0465-5 PWR, avril 1992; Krämer A. et Ruff J., "Transformers for phase angle regulation considering selection of on-load tap changers", IEEE /PES, no 30 PE-070-PWRD-1-05-1997, 1997; et Seitlinger W., "Phase shifting transformers - Discussion of specific characteristics", CIGRÉ, no 12-306, 1998.

En référence aux Figures 2A-B, un TD de type Mersereau est probablement le mieux approprié pour une installation à

315 kV tandis qu'un TD de type squashed-delta ou hexagonal-delta (non-illustré) convient mieux pour le déglacement à 25 kV. La Figure 2A fournit un exemple de réalisation de la connexion Mersereau. Ce type de TD est constitué de deux noyaux (transformateurs) 12, 14 qui peuvent être physiquement logés dans une même cuve ou non. Le TD de type Mersereau peut être conçu pour agir indépendamment sur le décalage angulaire et sur l'amplitude des tensions à ses bornes. Dans le cas montré ici, le TD ne permet de modifier que l'écart angulaire.

Le principe de fonctionnement de ce TD est simple. Le transformateur shunt (d'excitation) 14 est alimenté par un système de tensions triphasées prélevées au point milieu du transformateur série 12. Au secondaire du transformateur shunt 14 on dispose d'un changeur de prise 16 qui permet de varier la valeur des tensions que l'on applique au transformateur série 12. On remarquera que la tension au secondaire de la phase A du transformateur shunt 14 n'est pas appliquée directement à la phase A du transformateur série 12. En effet, la phase A du transformateur série 12 est plutôt alimentée par la différence des tensions apparaissant entre les phases C et B du transformateur shunt 14. Tel que montré sur le schéma de phaseurs illustré à la Figure 2B, cette différence de tension  $V_{xc} - V_{xb}$  est en quadrature avec la tension  $V_{xa}$  au point milieu du transformateur série 12. En agissant sur le changeur de prise 16, on peut donc varier l'amplitude de la tension injectée et, du même coup, le décalage angulaire entre les tensions  $V_s$  et  $V_r$ .

Plus la tension injectée dans une boucle de lignes est importante, plus le courant de déglacement induit dans cette boucle augmente. Le changeur de prise 16 permet donc un réglage souple et graduel du courant de déglacement. Cette souplesse du réglage permet d'augmenter le courant de déglacement sans produire de perturbation soudaine de tension

dans le réseau. De plus, on peut augmenter le courant au niveau requis pour déglacer les lignes sans endommager celles-ci ou les équipements en série avec celles-ci.

On remarquera à la Fig. 2A que le transformateur shunt 14 dispose d'un enroulement additionnel 18 en série avec l'enroulement du changeur de prise 16. Cet enroulement 18 permet de créer un décalage angulaire fixe qui s'ajoute ou se retranche à celui produit par l'enroulement du changeur de prise 16. On ajoute dans les TD ce type d'enroulement lorsque l'on veut atteindre des décalages angulaires relativement importants comme cela peut être le cas pour le déglacage des lignes longues. Pour fins de simplification, on a omis d'illustrer le schéma de détail du changeur de prise 16 de même que des interrupteurs (non-illustrés) requis pour l'insertion et l'inversion de l'enroulement du changeur de prise 16 et de l'enroulement additionnel 18.

En référence à la Figure 3A, on présente un schéma équivalent simplifié du TD valide pour la séquence directe. Tel qu'illustré, l'enroulement additionnel 18 de la Figure 2A du transformateur shunt 14 a été mis hors service. Pour fin de simplification, on a de plus représenté le transformateur série 12 comme s'il était constitué de deux noyaux, plutôt qu'un seul. Suivant ces simplifications, on obtient les schémas équivalents des Figures 3B-C requis pour des études de répartition de puissance (Figure 3B) et de court-circuit (Figure 3C). L'impédance de fuite du TD varie avec la position du changeur de prise. Les impédances  $Z_{se}$  et  $Z_{sh1}$  peuvent être calculées pour reproduire le comportement du TD. Les impédances  $\underline{Z}$ ,  $\underline{Z}_0$  et le ratio  $n$  de ce transformateur-déphaseur sont donnés par:

$$\underline{Z} = 2\underline{Z}_{se} + \frac{4n^2 \underline{Z}_{sh1}}{1+n^2};$$

$$\underline{Z}_0 = 2\underline{Z}_{se}; \text{ et}$$

$$n = \sqrt{3}n_{se}n_{shl} = -tg\left(\frac{\psi}{2}\right).$$

La Figure 4 permet de clarifier la convention de signe employée ici pour l'angle interne  $\psi$  du TD.

La technologie des régulateurs de puissance interphase (RPI) a donné naissance à trois appareils commercialisés par la société ABB: le lien découplant (LD), le transformateur limiteur de courant de défaut (TLCD) et le transformateur-déphaseur assisté (TDA). Voir à ce sujet Brochu J., "Interphase power controllers", Polytechnic International Press, Montréal, 2e édition, janvier 2001. Un TDA est en service au poste de Plattsburgh depuis juin 1998. Voir à ce sujet Lemay J., Bérubé P., Brault M. M., Gvozdanovic M., Henderson M. I., Graham M. R., Smith G. E., Hinners R. F., Kirby L. R., Beauregard F. et Brochu J., "The Plattsburgh interphase power controller", IEEE 1999 T&D Conference and Exposition, New Orleans, avril 1999.

Le TDA constitue un RPI réduit à sa plus simple expression.

En référence à la Figure 5, il peut prendre deux formes suivant que le TDA est utilisé pour augmenter ("boost") ou réduire ("buck") la puissance transitée dans la ligne en série avec laquelle il se trouve. Pour l'accroissement du transit, on installe simplement un condensateur aux bornes d'un TD tandis qu'on utilise plutôt une inductance pour réduire le transit. Les axes du graphique de la Figure 5 correspondent à la puissance  $P$  transitée par le TDA et à l'angle  $\delta$  présent à ses bornes. Dans le cas présent, le TD est supposé idéal et l'angle  $\delta$  est égal à son angle interne  $\psi$ . Dans le cas d'un TD réel,  $\delta$  et  $\psi$  ne sont égaux l'un à l'autre que lorsque le courant est nul dans le TD. Ce système d'axes est appelé plan puissance-angle du régulateur de puissance.

Le TDA du poste Plattsburgh a été réalisé en ajoutant une inductance en parallèle avec un TDA existant. Pour le cas du déglacage par circulation de courant, on aura plutôt recours à l'installation d'un condensateur en parallèle avec un TD. Cet élément réactif permet en effet d'augmenter le niveau de transit dans la ligne à un niveau plus élevé que ne le permet le TD utilisé seul.

En référence à la Figure 6, on montre un schéma unifilaire du TDA au poste cible, apte à servir de DLSC 20.

10        Soulignons que pour les deux types de TDA, le comportement du TD est relativement peu affecté par la mise en parallèle de l'élément réactif parce que l'impédance de cet élément est beaucoup plus grande que celle de l'impédance de fuite du TD, d'où le terme transformateur-déphaseur assisté.

20        En référence à la Figure 7, on illustre schématiquement de quelle manière le condensateur 22 vient assister le TD 2 dans son travail de régulateur de puissance. Dans un premier temps (à gauche dans la Figure), on montre qu'après ajustement du changeur de prise du TD 2, le niveau de transit dans la ligne a pu être augmenté à un certain niveau. Tel que mentionné précédemment, une tension doit être injectée par le TD pour produire le décalage angulaire à ses bornes. Dans le cas de l'accroissement de la puissance, la tension injectée est telle que si on raccorde un condensateur 22 en parallèle avec le TD 2, une partie du courant de la ligne se trouve à être détournée par le condensateur 22. Les études de répartition de puissance montrent qu'alors le transit dans la ligne varie peu tandis qu'il baisse beaucoup dans le TD 2 (au milieu dans la Figure), ce qui lui permet de chauffer moins.

30        Il devient alors possible de réajuster le changeur de prise du TD 2 pour augmenter à nouveau son courant à sa valeur nominale. Ce faisant, le courant augmente aussi dans

le condensateur 22, ce qui concourt à augmenter la puissance transitée par la ligne (à droite dans la Figure).

Ainsi, avec un TD d'une puissance nominale donnée, la conversion en TDA permet d'augmenter le transit dans la ligne au-delà de la limite thermique du TD. Dans une application qui requiert un TD ayant une large plage angulaire, comme c'est le cas pour le déglacage de lignes longues, il est donc possible de spécifier un TD beaucoup plus petit s'il est assisté par un élément réactif que s'il est utilisé seul. Les  
10 figures 8-13 illustrent ceci.

Soulignons que le TDA avec condensateur présente une particularité de première importance pour le déglacage. Plus la tension injectée augmente, plus la puissance réactive du condensateur soumis à cette tension augmente. La production de puissance réactive par le condensateur se trouve donc à augmenter dans le même sens que les besoins en puissance réactive du réseau. En condition de déglacage, les puissances transitées par les lignes dépassent très largement leur niveau habituel ce qui conduit normalement à des  
20 effondrements de tension dans le réseau. Le TDA, par sa production de puissance réactive, permet d'éviter ces effondrements de tension et le réseau peut maintenir des tensions adéquates pour l'alimentation des charges durant le déglacage.

Si on devait déglacer les lignes en n'utilisant que la technologie des TD, la question du dimensionnement de ce dernier serait relativement simple. Il faudrait alors effectuer un ensemble de calcul de répartition de puissance de manière à identifier les conditions d'exploitation les  
30 plus stressantes. Dans le cas du TDA, toutefois, la question du dimensionnement devient plus complexe puisque l'on dispose d'un degré de liberté additionnel: le choix de l'impédance du condensateur.

On peut relever quatre facteurs qui interviennent dans le choix de cette impédance: le coût du TDA (lorsque la puissance nominale du condensateur augmente celle du TD diminue et vice versa); l'impédance de la boucle de déglacement; la fréquence du mode de résonance introduit par le condensateur du TDA; et le support de tension au réseau en situation de déglacement.

Une méthode d'analyse des régulateurs de puissance (TD, TDA, UPFC ("Unified Power-Flow Controller") ou autres) dans le plan Puissance P - Angle  $\delta_{sr}$  a été mise au point au CITEQ. Voir à ce sujet: Brochu J., "Interphase power controllers", Polytechnic International Press, Montréal, 2e édition, janvier 2001; Lemay J., Bérubé P., Brault M. M., Gvozdanovic M., Henderson M. I., Graham M. R., Smith G. E., Hinners R. F., Kirby L. R., Beauregard F. et Brochu J., "The Plattsburgh interphase power controller", IEEE 1999 T&D Conference and Exposition, New Orleans, avril 1999; Brochu J., Beauregard F., Lemay J., Morin G., Pelletier P. et Thallam R. S., "Application of the interphase power controller technology for transmission line power flow control", IEEE Transactions PWRD, vol. 12, no 2, avril 1997, pp. 888-894; et Brochu J., Beauregard F., Lemay J., Pelletier P. et Marceau R. J., "Steady-state analysis of power flow controllers using the power controller plane", IEEE Transactions PWRD vol. 14, no 3, juillet 1999, pp. 1024-1031. Elle permet d'exprimer très simplement l'interaction d'un régulateur de puissance avec le réseau où il se trouve. Elle est utilisée ici pour illustrer graphiquement le fonctionnement du DLSC. Les quelques lignes qui suivent résument les principaux aspects de cette méthode.

En référence aux Figures 8A-B, la méthode P -  $\delta_{sr}$  permet de considérer le réseau 24 dans son ensemble, quelle que soit sa complexité. L'analyse du comportement combiné du réseau avec son régulateur de puissance, ici un TD 2, est faite en observant la puissance transitée P par le régulateur en

fonction de l'écart angulaire  $\delta_{sr}$  à ses bornes. Ces deux grandeurs sont utilisées pour définir le plan  $P - \delta_{sr}$  tel qu'illustré à la figure 8B.

On peut définir dans le plan  $P - \delta_{sr}$  deux types de caractéristiques relativement linéaires et bien découplées l'une de l'autre: la caractéristique du réseau 24 dépend relativement peu du type de régulateur de puissance (elle est principalement fonction des impédances du réseau et de son mode d'exploitation); la caractéristique du régulateur dépend  
10 relativement peu du réseau 24 (elle est principalement fonction des paramètres du régulateur).

Le point d'intersection de ces deux caractéristiques donne le point de fonctionnement ou d'opération 26 de l'ensemble réseau-régulateur de puissance. Pour un réseau donné, on peut donc illustrer très simplement les effets que l'on obtiendra sur le dimensionnement du régulateur si on modifie l'un ou l'autre des paramètres du réseau ou du régulateur.

La Figure 9 fournit justement un exemple de modification  
20 de paramètre du TD. On montre de quelle manière la caractéristique du TD (en traits minces) est modifiée par la mise en parallèle d'un condensateur pour constituer un TDA (en traits gras). Puisque le condensateur est en parallèle, la puissance qu'il transporte peut être directement additionnée à celle du TD pour obtenir la caractéristique du TDA (en traits gras). On a illustré cette addition des caractéristiques pour deux angles internes  $\psi$  différents. En prévision de ce qui suit, mentionnons que plus l'impédance du condensateur est petite, plus sa caractéristique aura une  
30 pente négative.

Les Figures 10A-B illustrent respectivement deux méthodes suivant lesquelles la mise en service d'un DLSC peut être faite. Encore ici, on prend comme exemple un TD 2.



Suivant la première méthode illustrée à la Figure 10A, juste avant la mise en service du TD 2, le réseau est configuré de manière à créer une concentration du courant de charge sur une des lignes à déglacer 4, 6 (la ligne 4 dans la Figure). Cette concentration de charge est faite uniquement en manoeuvrant le disjoncteur 26 du réseau. Par la suite, l'angle interne  $\psi$  du TD 2 est pré-ajusté à la même valeur que l'angle  $\delta_{sr}$  mesuré à ses bornes. De cette manière, à la fermeture du disjoncteur 28 du TD 2, l'impact du TD 2 sur les  
10 transits du réseau est minimal; la valeur de  $P_{TD}$  reste faible, voisine de zéro.

En situation réelle, il peut être nécessaire de manoeuvrer plusieurs disjoncteurs pour obtenir l'effet de concentration du courant de la charge dans une ligne donnée. Soulignons par ailleurs que la concentration du courant de charge favorise l'augmentation du courant de déglacage mais ne constitue pas une condition indispensable à la mise en application du DLSC. On a simplement recourt à la concentration du courant de charge pour réduire la taille du  
20 DLSC. Le courant du DLSC est alors approximativement égal au courant de déglacage réduit de la contribution du courant de charge.

Dans le cas où la ligne laissée momentanément en antenne est longue (la ligne 6 dans la Figure), cette méthode présente l'inconvénient de produire une surtension sur cette dernière en raison de l'effet Ferranti. Cette difficulté est contournée avec la seconde méthode.

En référence à la Figure 10B, alors que les deux barres 30, 32 du TD 2 sont court-circuitées par les disjoncteurs 34  
30 du réseau, on ajuste l'angle interne  $\psi$  à zéro degré puis on met le TD 2 en service. L'angle  $\delta_{sr}$  aux bornes du TD 2 est alors nul. Par la suite, on configure le réseau en prévision de concentrer le courant de charge comme précédemment (e.g. en manoeuvrant le disjoncteur 26 du réseau). Finalement, on

ouvre le disjoncteur 34 qui court-circuite le TD 2. De cette manière, les lignes à déglacer 4, 6 ne se retrouvent jamais en antenne. Par contre, tout dépendant des conditions d'exploitation, le réajustement des transits au moment de l'insertion du TD 2 peut être plus important qu'avec la première méthode.

0 Les Figures 11A-B montrent la différence entre ces deux méthodes respectives dans le plan  $P - \delta_{sr}$  (Figure 11A pour la première méthode, Figure 11B pour la deuxième méthode). Les points de fonctionnement 26 illustrés correspondent à l'état du réseau et du DLSC en mode TDA après sa mise en service. Bien que ces schémas soient qualitatifs, ils représentent un calque assez fidèle des résultats obtenus lors de simulations de la mise en service du DLSC pour un déglacage de lignes à 315 kV.

0 Une fois le DLSC en service, il ne reste plus qu'à varier le changeur de prise du TD 2 pour varier la tension injectée et, par conséquent, l'angle interne  $\psi$ . Dans le plan  $P - \delta_{sr}$ , cette variation de l'angle interne se traduit par le glissement latéral de la caractéristique 34 du DLSC (en mode TDA pour cet exemple). Ce faisant, le point d'intersection 26 de la caractéristique 34 du DLSC et de la caractéristique 36 du réseau glissera le long de la caractéristique 36 de réseau. C'est en faisant glisser la caractéristique 34 du régulateur vers la droite que l'on passe des conditions de fonctionnement montrées aux Figures 11A-B à celles des Figures 12A-B en condition de déglacage.

0 À l'aide du plan  $P - \delta_{sr}$ , on peut maintenant présenter un exemple de compromis qui peut être fait en dimensionnant le condensateur et le TD du TDA.

Les Figures 12A-B donnent les conditions de déglacage de lignes à 315 kV raccordées au poste cible. Sur chacun des graphiques, on retrouve les caractéristiques du réseau 36, du condensateur 38 et du TDA 34. Les flèches 40, 42, 44 montrent

qualitativement les niveaux des puissances actives portées par le condensateur, le TD et le TDA, respectivement. Tel que mentionné plus haut, la somme de la puissance du condensateur et du TD donne celle du TDA. Tout comme aux Figures 11A-B, ces schémas représentent assez fidèlement les résultats obtenus par simulation.

En comparant le déglacement des lignes 3082 et 3083 (Figure 6 et Figure 12A) avec celui des lignes 3089 et 3090 (Figure 6 et Figure 12B), on remarque que, dans le premier cas, la puissance 40 transitée par le condensateur est à peu près égale à celle 42 du TD. Dans le second cas, cependant, la puissance 40 portée par le condensateur est près du double de celle 42 du TD. C'est dans le premier cas que la puissance 42 transitée par le TD est la plus grande tandis que c'est dans le second cas que la puissance 40 transitée par le condensateur est la plus grande.

Il est important de souligner au passage à quel point le TDA est bien adapté au déglacement des lignes de transport. En effet, les deux cas des Figures 12A-B montrent que la puissance nominale du TD requise pour commander le courant de déglacement est de l'ordre de la moitié de la puissance nominale d'un TD équivalent pouvant produire seul, sans le condensateur, le même courant de déglacement.

Afin de réduire le coût du TD, il est possible de réduire la valeur de l'impédance du condensateur de manière à ce que le transit de ce dernier soit le plus élevé possible et, qu'inversement, le transit du TD soit le plus faible possible. Ce faisant, on force à la hausse la taille et le coût du condensateur.

On peut montrer que la pente de la caractéristique du réseau dépend de la somme des impédances des éléments de la boucle de déglacement; la pente est inversement proportionnelle à cette somme.

Dans le cas du réseau d'une région où l'on cherche à déglacer aussi bien des lignes à 230 kV qu'à 315 kV, ceci implique que la pente de la caractéristique du réseau va varier considérablement tout dépendant des lignes à déglacer. La pente de la caractéristique du réseau sera la plus forte dans le cas où on déglace les lignes à 315 kV. Elle baissera considérablement dans le cas des lignes à 230 kV. On peut apprécier la variation de la pente de la caractéristique réseau en comparant les Figures 12A-B et les Figures 13A-B  
0 tracées toutes les deux à la même échelle. La baisse marquée de la caractéristique 36 du réseau à 230 kV (Figures 12A-B) s'explique par la construction mécanique des lignes (structure et longueur) et aussi par la présence au poste de deux transformateurs 315/230 kV en série dans la boucle.

Cette baisse de la pente de la caractéristique 36 du réseau a un impact sur le choix du mode de déglacage. Pour le cas particulier présenté ici, on peut être amené à retenir le mode TDA (Figures 12A-B) pour les lignes à 315 kV et le mode TD (Figure 13A) pour les lignes à 230 kV. Le TD requis à 315  
0 kV présente une puissance nominale suffisante pour être exploité seul lors du déglacage des lignes à 230 kV.

Le condensateur du TDA n'introduit pas de mode sous synchrone comme la compensation série classique parce que son impédance est trop élevée pour cela. Typiquement, ce mode de résonance est super synchrone.

Pour l'exemple de référence, le condensateur du TDA présente une réactance de 159  $\Omega$ . Il introduit un mode de résonance dont la fréquence varie avec l'impédance de fuite du TD.

0 Lorsque le TDA est sur le point d'être mis en service, en procédant suivant la première méthode décrite plus haut ( $P_{TDA} = 0$ ), le condensateur est en parallèle avec l'impédance de fuite du TD uniquement. En supposant que la valeur maximale de cette impédance de fuite varie entre 5 et 10% sur

la base du TD (de  $\psi$  min à  $\psi$  max), on a obtenu une impédance pouvant varier entre 11,5 à 23  $\Omega$  lorsque l'angle interne est nul ou maximum. Dans ces conditions, la fréquence de résonance varie entre 223 et 158 Hz respectivement.

Il faut veiller à maintenir cette fréquence de résonance suffisamment élevée si on désire mettre le TDA en service suivant la première méthode. Avec les paramètres que nous avons employés, les calculs de répartition de puissance montrent que l'angle interne  $\psi$  du TD peut être varié entre  $\pm 30^\circ$  sans que le courant qui circule alors entre le TD et son condensateur ne dépasse le courant nominal du TD.

D'autres conditions d'exploitation peuvent avoir un impact sur le choix du condensateur. À titre d'exemple, si le TDA déglace une ligne alors que son angle interne est près de sa valeur maximale et que la boucle vient à s'ouvrir pour une raison ou une autre, des surtensions importantes peuvent apparaître aux bornes du TDA et ailleurs dans le réseau tout dépendant de la topologie de ce dernier. S'il y a lieu, le choix du condensateur pourra être revu ou des éléments de protection tels que des parafoudres pourront être envisagés pour assurer l'intégrité du réseau.

Le DLSC au poste cible peut être principalement composé de quatre parties: un transformateur-déphaseur; un banc de condensateur; deux disjoncteurs; et deux sectionneurs motorisés.

Des parafoudres devraient être utilisés pour protéger les condensateurs des chocs de foudre et des surtensions si requis.

Les caractéristiques électriques sont spécifiques au poste cible et sont ici données à titre indicatif seulement.

La Figure 16 est un tableau qui donne les puissances  $S_r$  en fonction des angles internes et externes du TD. On a utilisé une impédance série de 10% évaluée sur la base de la puissance nominale du TD.

La puissance maximale du TD est de 443 MVA lorsque l'angle interne vaut  $43^\circ$ . La puissance du TD n'atteint cependant que 251 MVA lorsque l'angle interne vaut  $60^\circ$ . L'angle interne peut varier de  $-60^\circ$  à  $60^\circ$  suivant les conditions de déglacement.

À la lumière de ces résultats, on peut spécifier comme suit les principales caractéristiques du TD: 450 MVA à une température ambiante de  $0^\circ\text{C}$  et un angle interne de  $45^\circ$ ; 250 MVA à une température ambiante de  $0^\circ\text{C}$  et un angle interne de  $60^\circ$ ; tension phase-phase nominale de 315 kV; impédance série approximative de 10% à la prise maximale; 3 plages angulaires:  $-60^\circ$  à  $0^\circ$ ,  $-30^\circ$  à  $30^\circ$  et  $0^\circ$  à  $60^\circ$ ; le changeur de prise sous charge doit permettre de couvrir chacune des plages sans interruption; 4 degrés maximum par prise.

Les principales caractéristiques du condensateur du DLSC sont les suivantes: 465 Mvar au total ( $3 \times 155$  Mvar) à une température ambiante de  $0^\circ\text{C}$ ; tension nominale de 157 kV; réactance de  $159\ \Omega$ ; et isolation phase-terre nominale des deux bornes des condensateurs de  $315/\sqrt{3}$  kV.

Tout comme pour le transport, le DLSC peut servir au déglacement des lignes triphasées de distribution.

Tout dépendant des caractéristiques physiques des lignes de distribution à déglacer, un DLSC de type TD ou TDA peut être employé. La longueur maximale des boucles formées par les lignes de distribution dépend des caractéristiques des lignes. Le TD utilisé seul permet de déglacer des boucles relativement courtes, e.g. de 0 à 30 km approximativement. Grâce au support de tension apporté par le condensateur du TDA, celui-ci peut déglacer des lignes de 0 à 60 km approximativement.

Les courants requis pour déglacer les lignes de distribution et les niveaux de tension sont beaucoup moins

élevés qu'en transport de sorte que la puissance nominale d'un DLSC pour des lignes de distribution est beaucoup plus faible que pour des lignes de transport. Pour cette raison, il est possible de concevoir un DLSC mobile installé sur une plate-forme. Un même appareil peut ainsi être conçu pour déglacer plusieurs circuits de lignes. En prévision d'un verglas, l'appareil est transporté puis raccordé aux lignes menacées. La transportabilité constitue un atout très important pour maximiser la valeur économique de l'appareil.

10        En référence aux Figures 14A-C, on présente différentes manières de raccorder un DLSC mobile à une ligne de distribution en dehors d'un poste. On retrouve sur les schémas unifilaires de ces Figures un poste de distribution 46, deux lignes de distribution 48, 50 et leurs charges 52. On montre également un interrupteur 54 permettant de raccorder les lignes 48, 50 l'une à l'autre au niveau du réseau de distribution.

20        Pour déglacer les lignes des schémas illustrés aux Figures 14A-B, il suffit de transporter le TD 2 au point de sectionnement de la boucle. Des câbles 56 souples sont alors utilisés pour raccorder le TD 2 aux bornes de l'interrupteur 54. Par la suite, on s'assure que cet interrupteur 54 est ouvert puis le changeur de prise du TD 2 est réglé de manière à induire dans la boucle un courant suffisamment élevé pour permettre le déglacage. Ce courant s'ajoute au courant de charge dans l'une des lignes 48, 50 et se soustrait au courant de charge dans l'autre ligne 48, 50. Tout dépendant du niveau du courant de charge, il peut être nécessaire d'inverser le signe du déphasage du TD pour imposer  
30        successivement dans les deux lignes 48, 50 des courants de déglacage adéquats.

Le TD 2 est exploité de la même manière dans le cas du schéma unifilaire illustré à la Figure 14C. On indique simplement ici que le courant de boucle n'a pas à passer

nécessairement par le poste 46. La boucle à déglacer peut être raccordée en antenne au poste de distribution 46 par un câble ou une ligne aérienne 56 renforcée pour le verglas.

En référence à la figure 15, on présente un autre exemple d'utilisation d'un DLSC, fixe ou mobile, pour le déglacage de lignes de distribution 48, 50. Encore ici, on montre un DLSC de type TD 2. Celui-ci est raccordé directement aux jeux de barres 58 du poste 46 de manière à avoir un accès à toutes les lignes de distribution raccordées à ce poste. Par des manoeuvres adéquates des disjoncteurs, interrupteurs 54 et des sectionneurs 60, le DLSC est raccordé en série avec les lignes à déglacer 48, 50.

Bien que des réalisations de l'invention aient été illustrées dans les dessins ci-joints et décrites ci-dessus, il apparaîtra évident pour les personnes versées dans l'art que des changements et des modifications peuvent être apportés à ces réalisations sans s'écarter de l'essence de l'invention.

Par exemple, une variante du montage illustré à la Figure 15 serait de remplacer au moins un des transformateurs de puissance du poste 46 par un transformateur qui serait à la fois abaisseur et déphaseur. En autant que des interrupteurs soient disponibles dans le réseau de distribution pour former des boucles, ce DLSC permettrait d'imposer des courants de déglacage suivant une approche très similaire à celle montrée à la Figure 15.

Une autre variante de DLSC pourrait consister à installer simplement un transformateur série de type Y-Delta pour produire un décalage angulaire fixe de 30 degrés. Cette approche très simple permettrait de déglacer des lignes à condition que l'impédance de celles-ci permette d'obtenir un courant qui soit suffisant pour déglacer les conducteurs sans toutefois surchauffer les connecteurs, sectionneurs, câbles ou autres appareils en série dans la boucle de déglacage. On



pourrait également envisager l'installation de transformateurs d'un autre type offrant un décalage angulaire spécialement calculé pour déglacer une ou quelques lignes en particulier.

## REVENDICATIONS:

1. Méthode de déglacage de lignes électriques sous charge à l'aide d'un appareil apte à produire un décalage angulaire ajustable entre ses bornes, comprenant:

choisir des segments (4, 6) de lignes électriques à déglacer;

connecter les segments (4, 6) de manière à former une boucle;

10 raccorder l'appareil en série avec les segments (4, 6) de la boucle à déglacer;

mettre l'appareil en service; et

ajuster le décalage angulaire de l'appareil pour imposer une augmentation de courant circulant dans au moins un des segments (4, 6) de la boucle, causant ainsi le déglacage dudit au moins un des segments (4, 6) de la boucle.

2. La méthode de déglacage selon la revendication 1, dans laquelle l'appareil comprend un transformateur-déphaseur  
20 (2) doté d'un changeur de prise (16), le décalage angulaire étant ajusté en agissant sur le changeur de prise (16).

3. La méthode de déglacage selon la revendication 2, dans laquelle l'appareil comprend un condensateur (22) en parallèle avec le transformateur-déphaseur (2).

4. La méthode de déglacage selon la revendication 1, dans laquelle l'appareil comprend un disjoncteur (28) et est mis en service en procédant successivement par des opérations  
30 de:

mesurer un déphasage aux bornes de l'appareil;

ajuster un angle interne de l'appareil à une même valeur que le déphasage mesuré; et

manœuvrer le disjoncteur (28) de l'appareil en position fermée.

5. La méthode selon la revendication 4, dans laquelle les opérations comprennent de plus de:

manœuvrer un disjoncteur de ligne (26) sur un des segments (4, 6) de la boucle en position ouverte pour concentrer un courant de charge sur l'autre segment (4, 6) de la boucle.

.0

6. La méthode de déglacage selon la revendication 1, dans laquelle l'appareil est mis en service en procédant successivement par des opérations de:

ajuster un angle interne de l'appareil à une valeur nulle;

manœuvrer un disjoncteur (34) connecté entre les segments (4, 6) de la boucle en position fermée de manière à court-circuiter l'appareil;

manœuvrer un disjoncteur de ligne (26) sur un des  
20 segments (4, 6) de la boucle en position ouverte pour concentrer un courant de charge sur l'autre segment (4, 6) de la boucle; et

manœuvrer le disjoncteur (34) connecté entre les segments de la boucle en position ouverte.

7. La méthode de déglacage selon la revendication 1, dans laquelle les lignes électriques sont des lignes de transport d'énergie.

30 8. La méthode de déglacage selon la revendication 1, dans laquelle les lignes électriques sont des lignes de distribution d'énergie.

9. La méthode de déglacement selon la revendication 8, dans laquelle l'appareil est mobile et les lignes de distributions sont raccordables en un point de sectionnement à l'aide d'un interrupteur (54) ayant des bornes opposées, les bornes de l'appareil étant raccordées aux bornes de l'interrupteur (54), l'interrupteur (54) étant manœuvré en position ouverte lors du déglacement.

10. Méthode de déglacement de lignes électriques sous charge à l'aide d'un appareil apte à produire un décalage angulaire fixe entre ses bornes, comprenant:

choisir des segments (4, 6) de lignes électriques à déglacer;

connecter les segments (4, 6) de manière à former une boucle;

raccorder l'appareil en série avec les segments (4, 6) de la boucle à déglacer;

mettre l'appareil en service; et

mettre l'appareil en circuit dans la boucle, l'appareil et les segments de lignes étant préalablement choisis pour que le décalage angulaire impose une augmentation de courant circulant dans au moins un des segments de la boucle, causant ainsi le déglacement dudit au moins un des segments (4, 6) de la boucle.

11. La méthode de déglacement selon la revendication 10, dans laquelle l'appareil est raccordé avec les segments (4, 6) de la boucle par un élément d'interruption, l'appareil étant mis en circuit dans la boucle en manœuvrant l'élément d'interruption.

12. La méthode de déglacement selon la revendication 11, dans laquelle l'élément d'interruption comprend un interrupteur (54).

13. La méthode de déglacage selon la revendication 11, dans laquelle l'élément d'interruption comprend un disjoncteur (28).

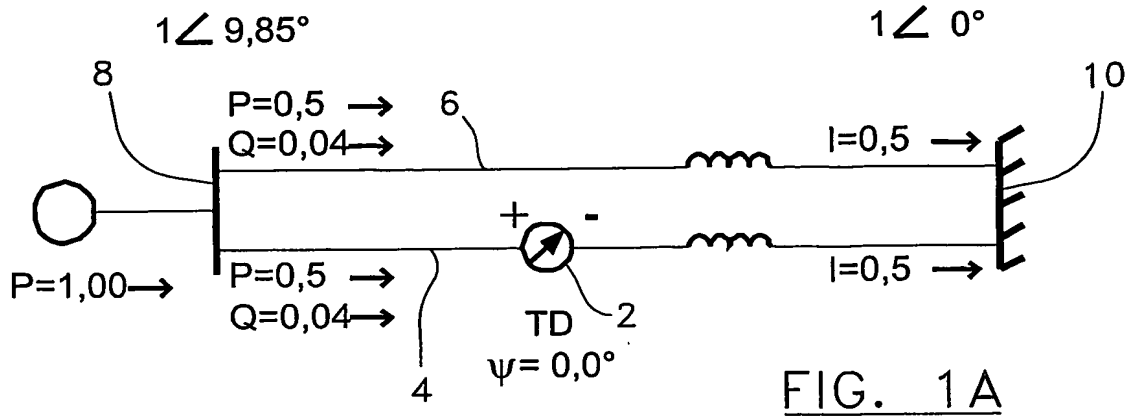


FIG. 1A

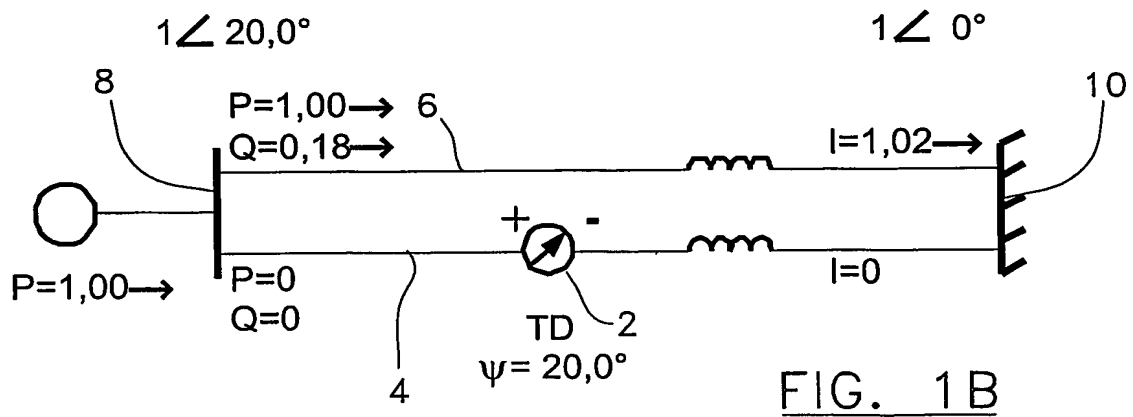


FIG. 1B

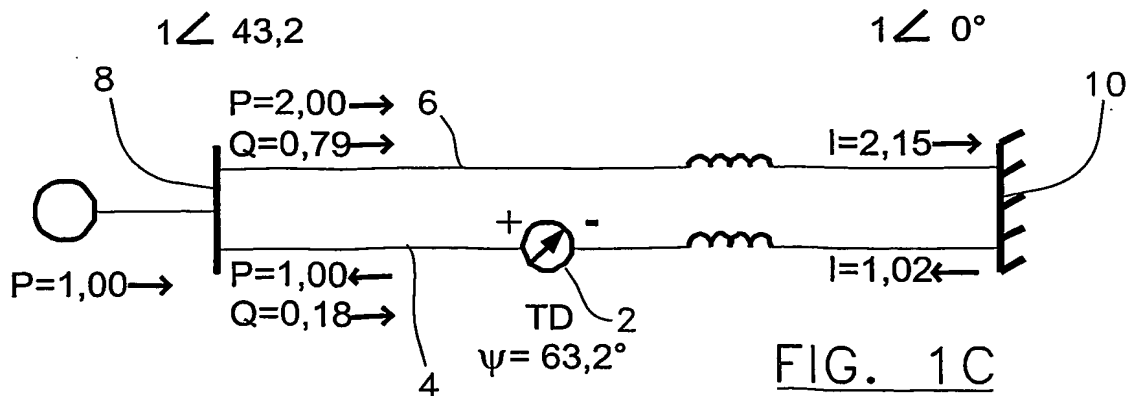


FIG. 1C

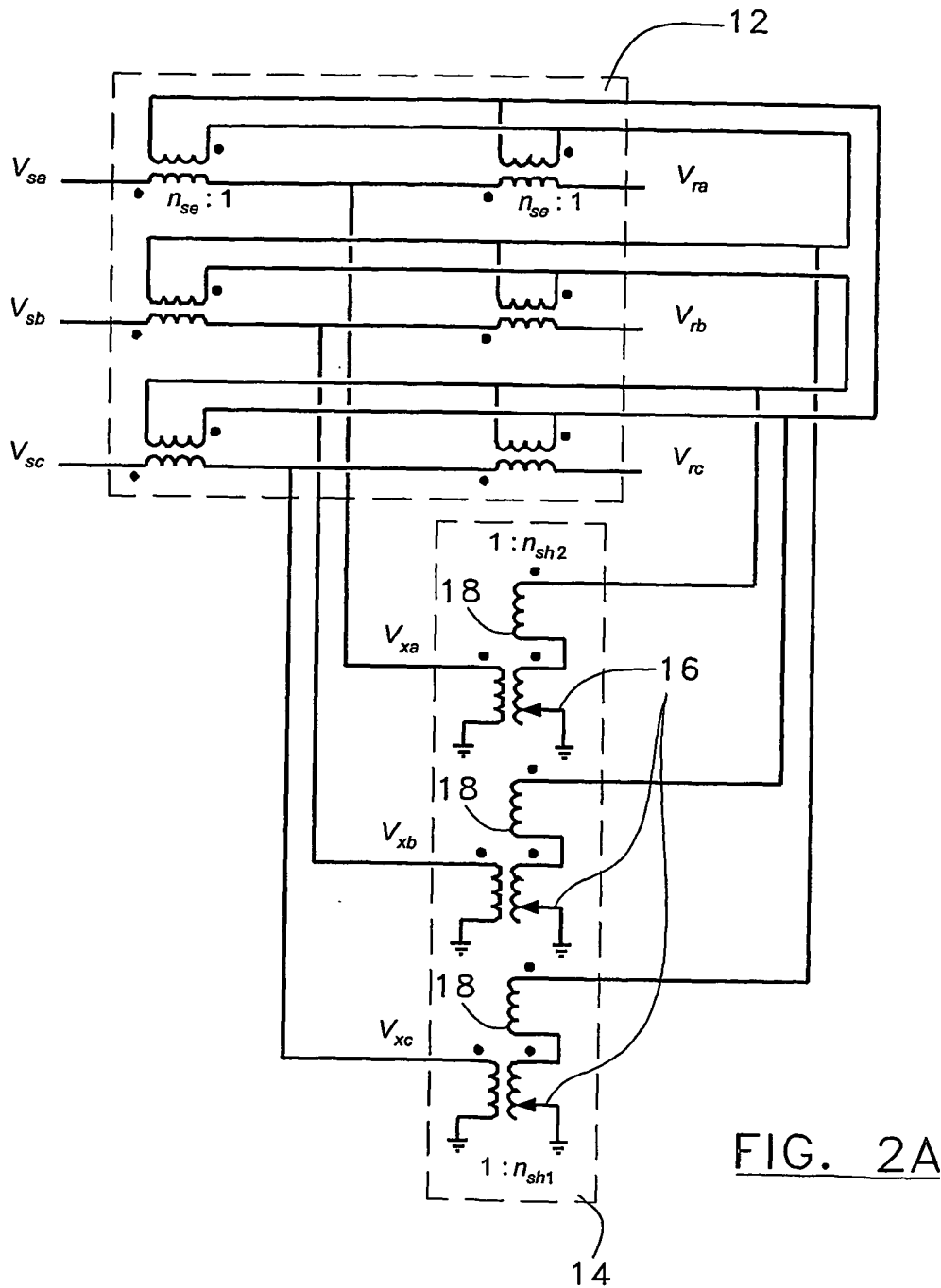


FIG. 2A

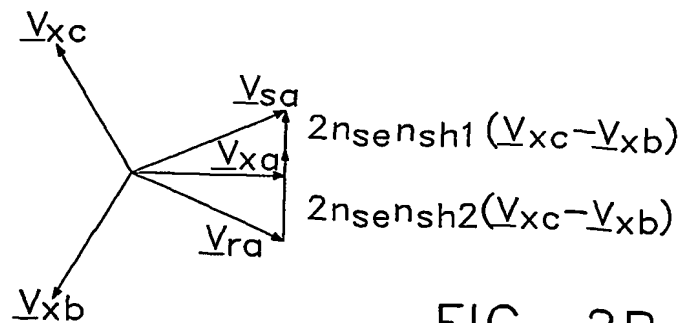


FIG. 2B





FIG. 4

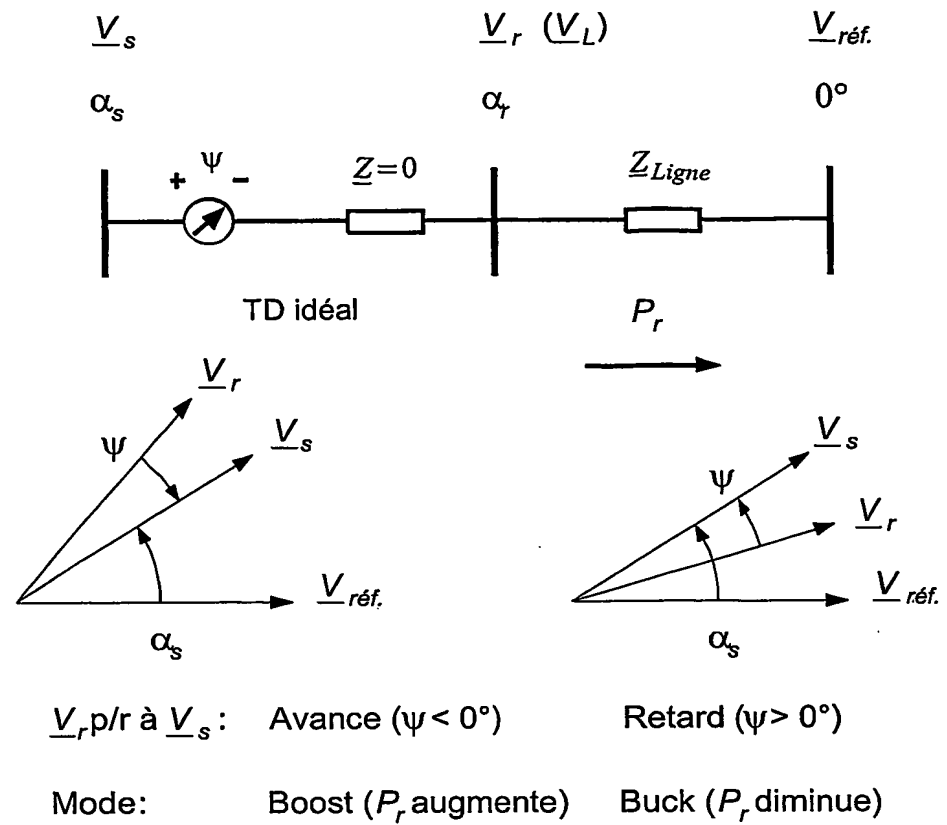
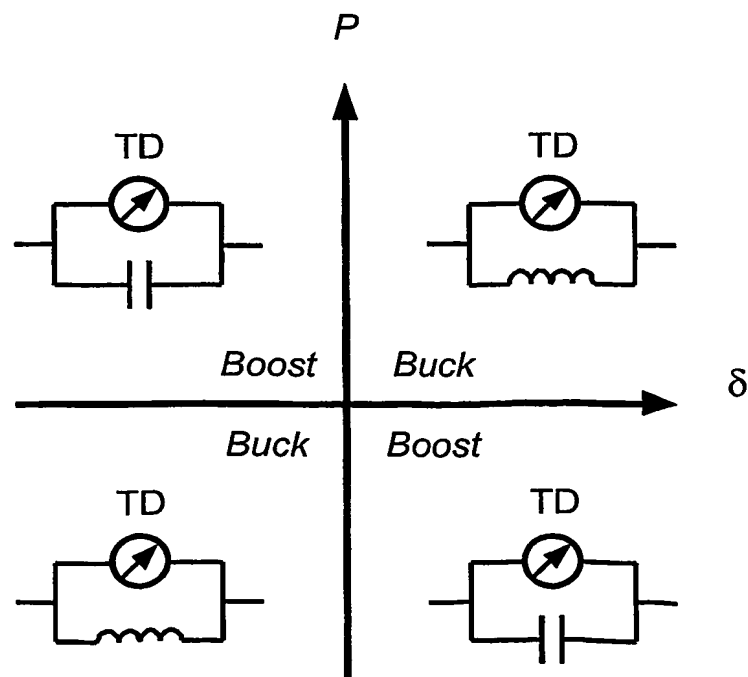


FIG. 5



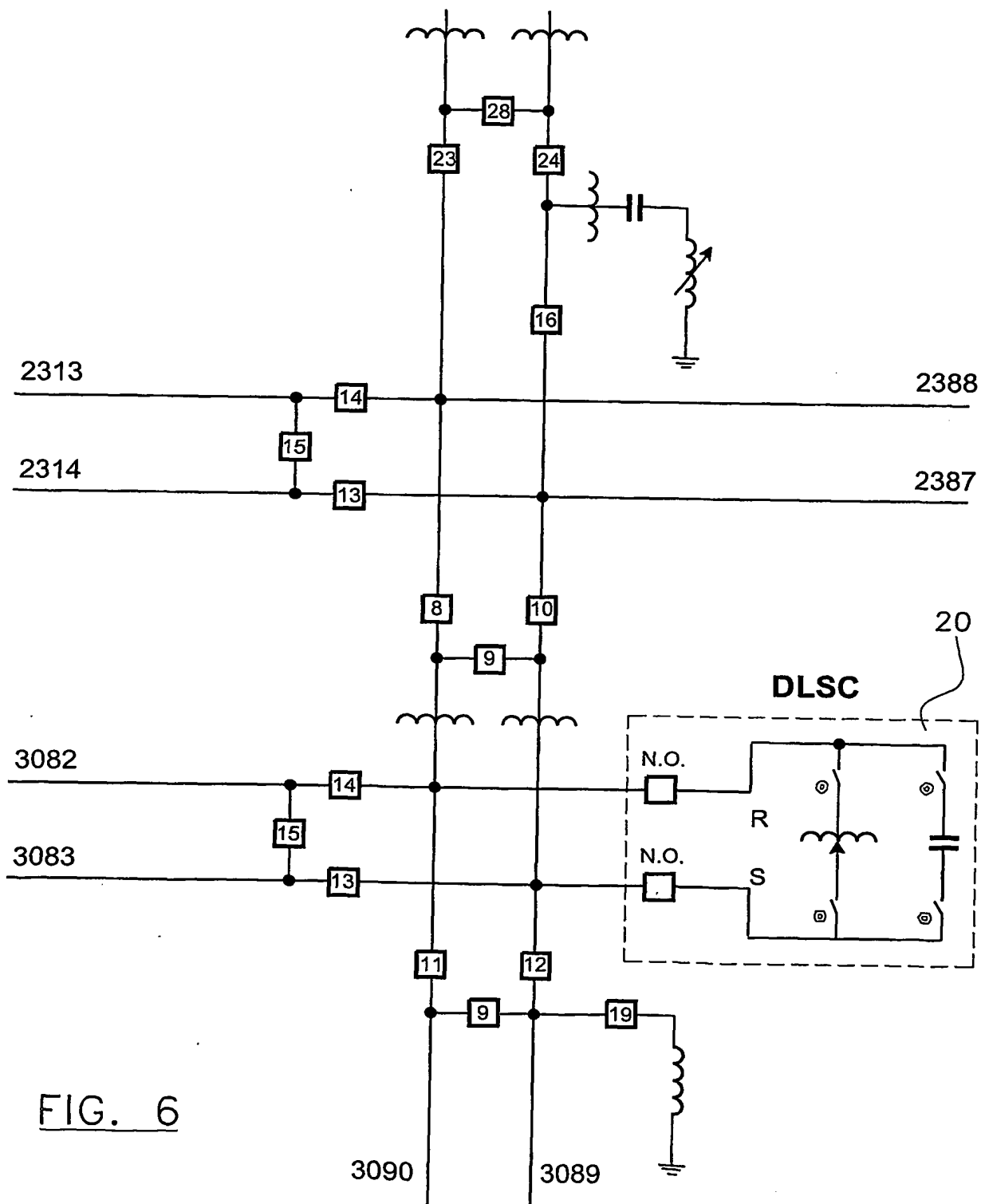


FIG. 6

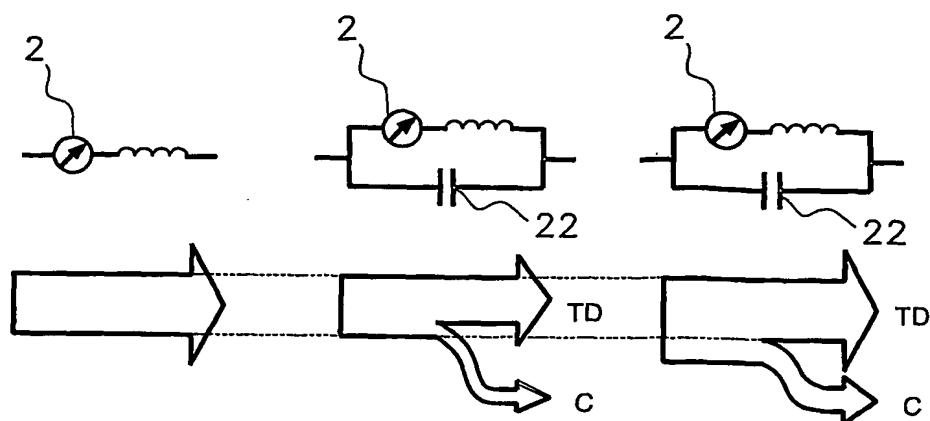


FIG. 7

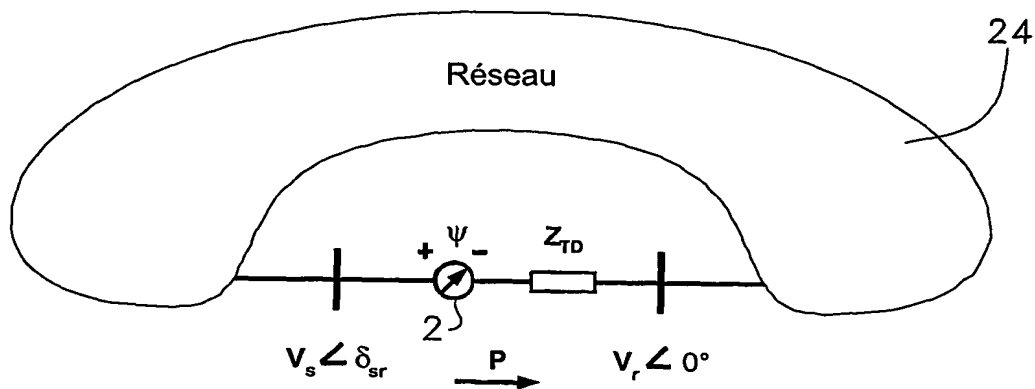


FIG. 8A

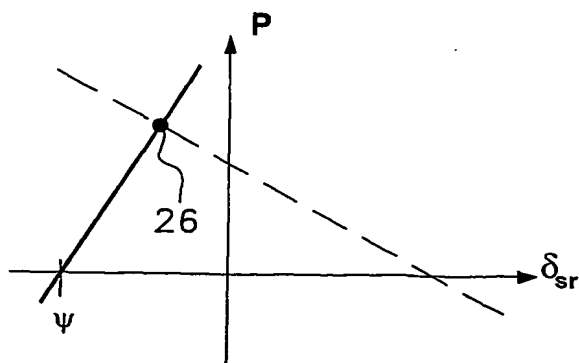


FIG. 8B

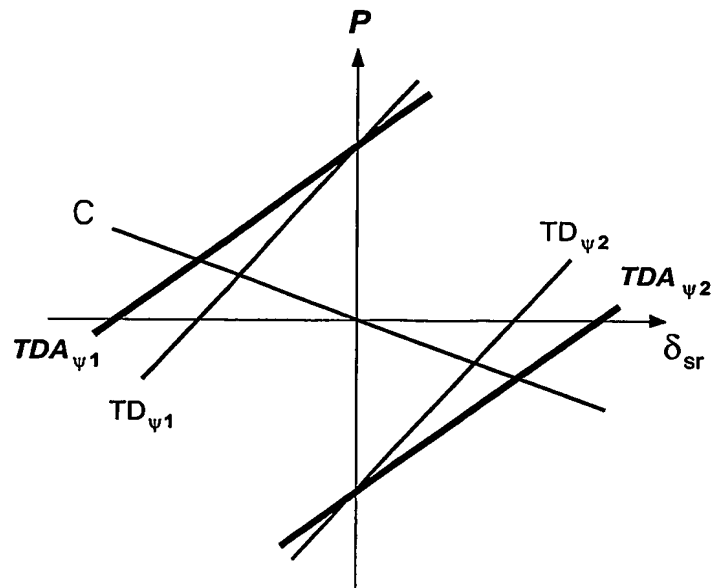


FIG. 9

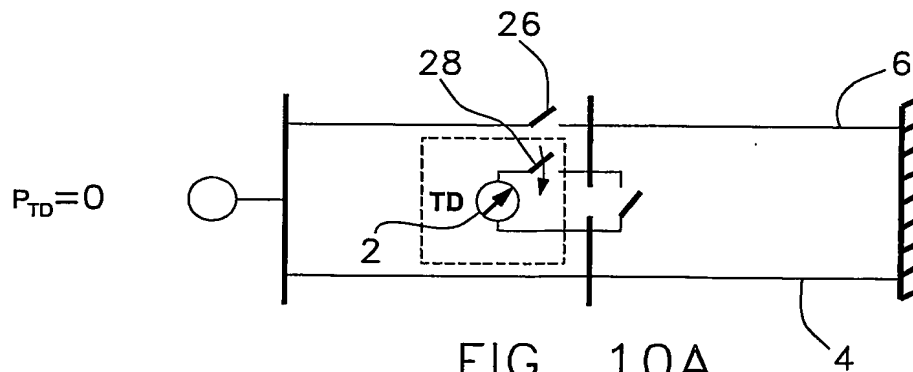


FIG. 10A

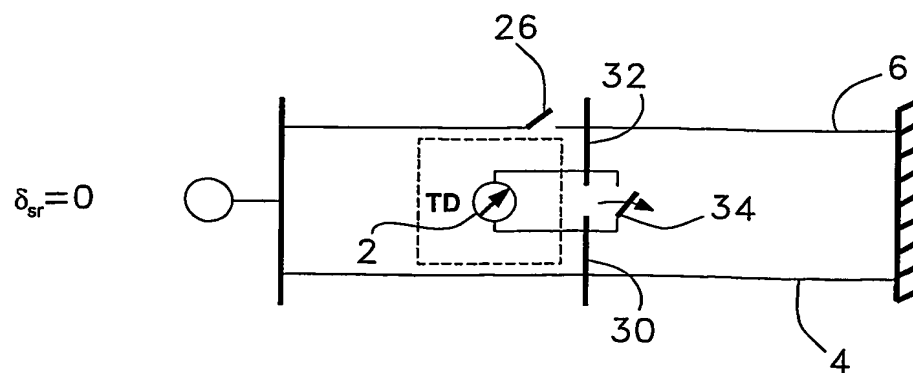


FIG. 10B

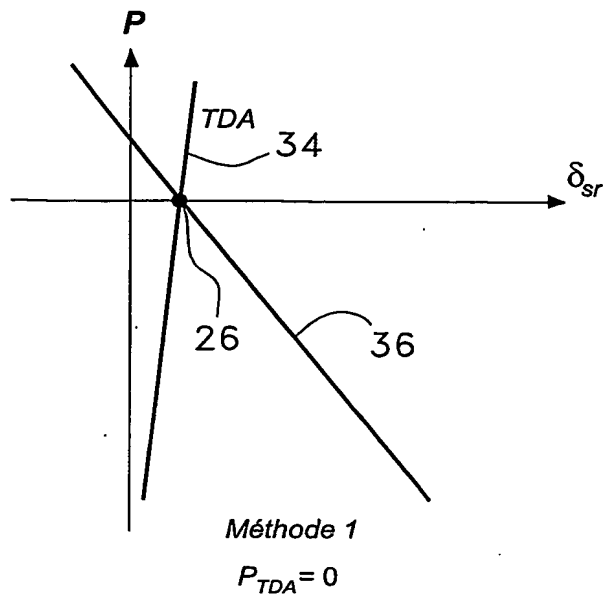


FIG. 11A

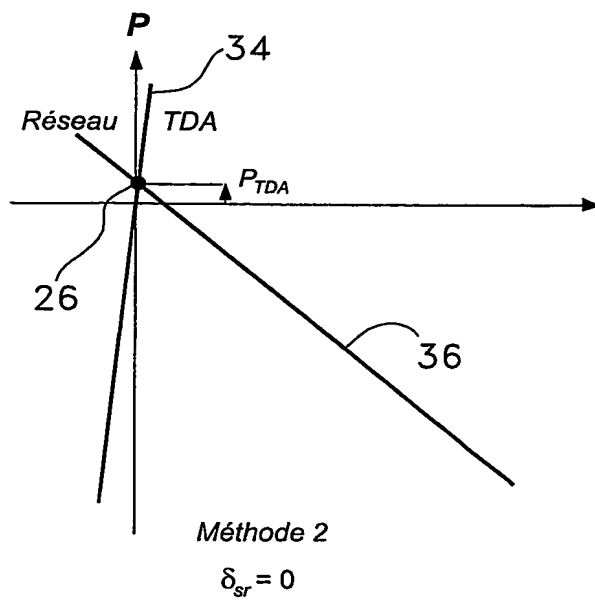


FIG. 11B

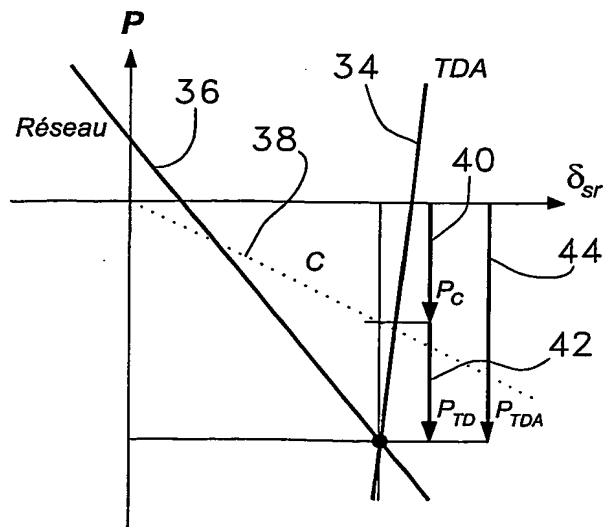


FIG. 12A

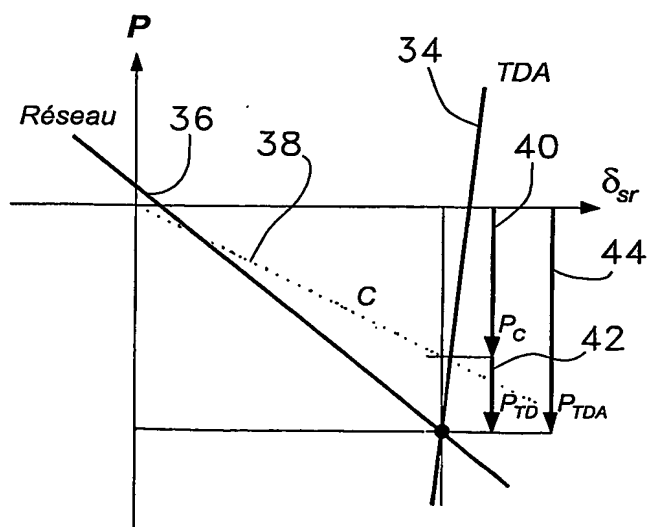


FIG. 12B

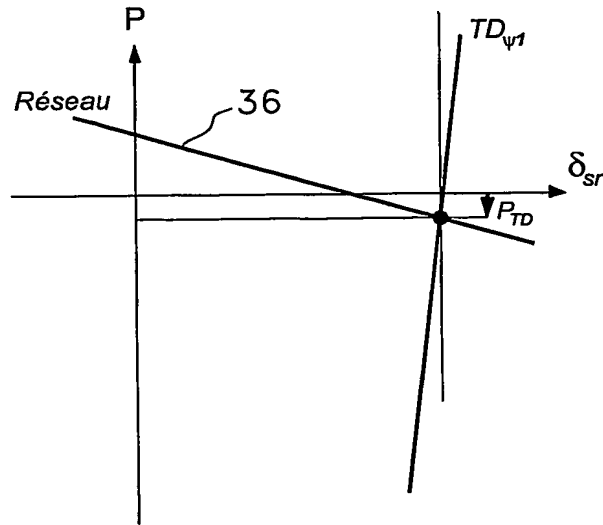


FIG. 13A

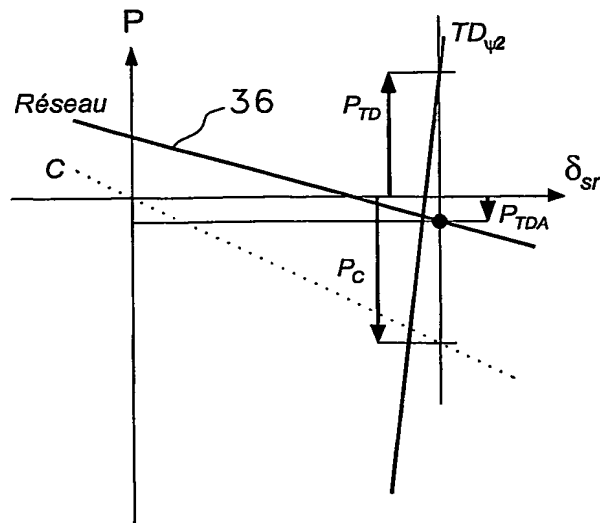


FIG. 13B

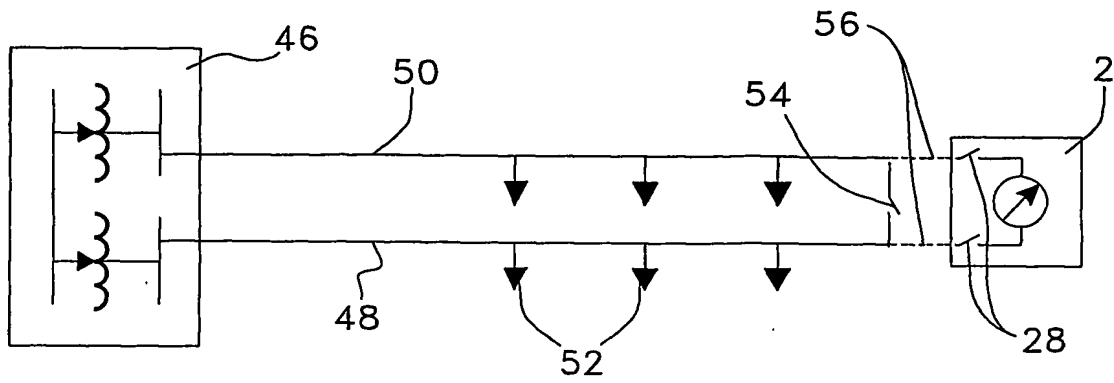


FIG. 14A

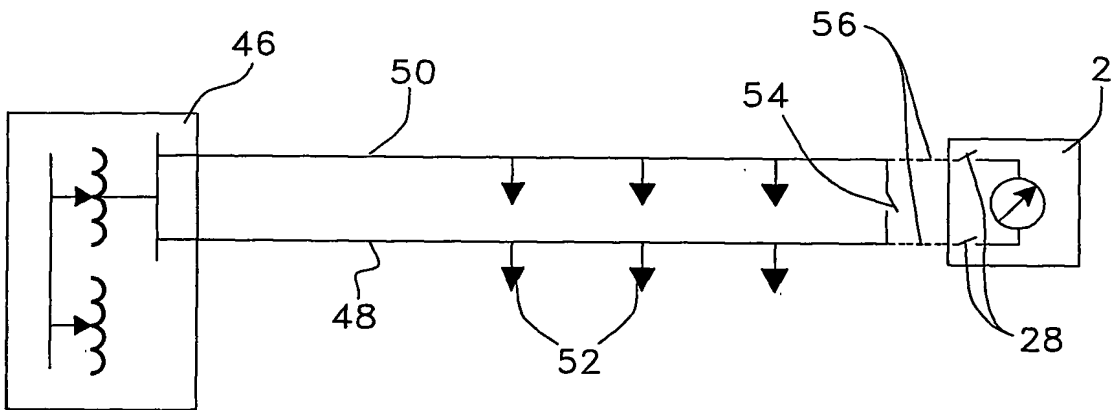


FIG. 14B

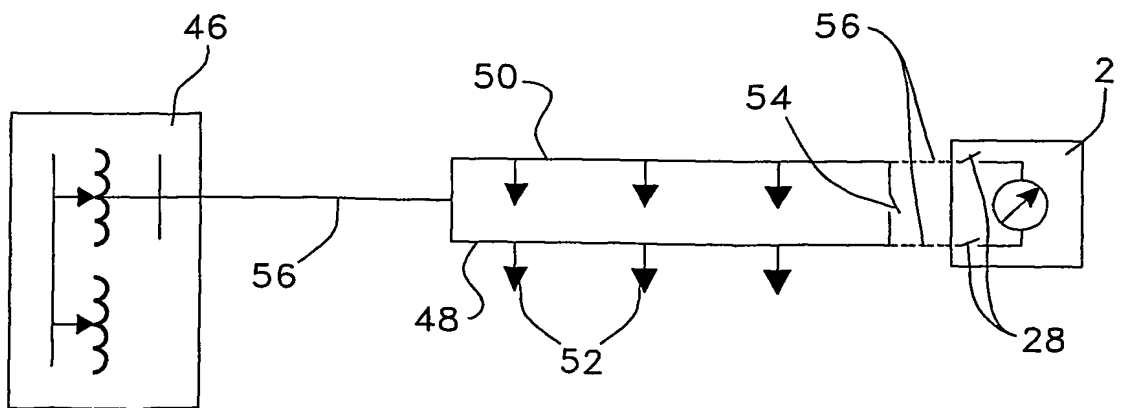


FIG. 14C

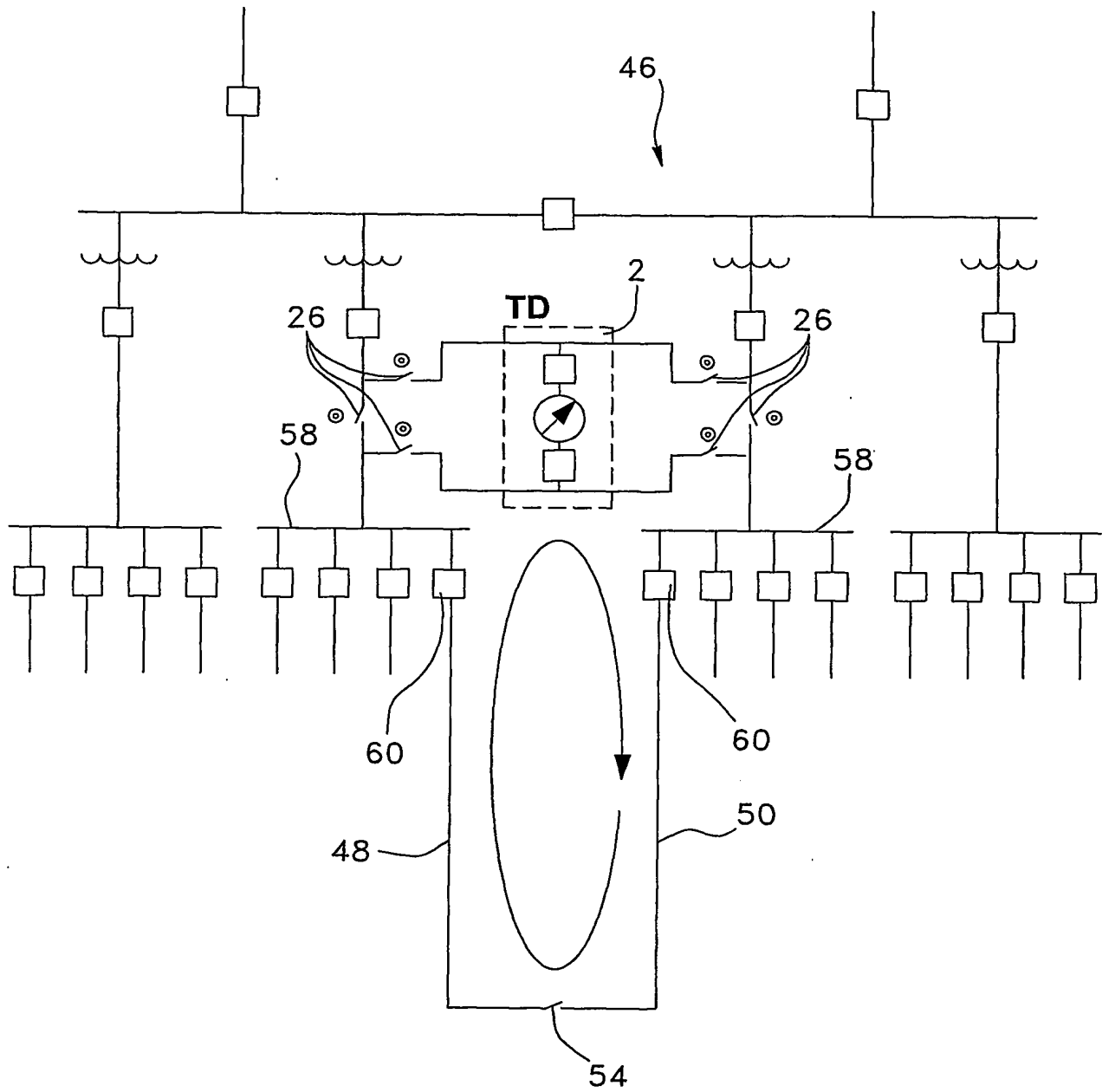


FIG. 15



	Angle interne $\psi$ (degrés)	Angle externe $\delta sr$ (degrés)	Puissance $S_r$ du TD (MVA)	Puissance $S_r$ du TDA (MVA)
TD seul	60	60,9	142	n. a.
	50	48,8	153	
	-32	-30,5	186	
	60	57,0	251	
	30	27,5	272	
TD en mode assisté	53	49,8	266	812
	43	37,9	443	842

FIG. 16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PC 03/01488

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H02G7/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 850 612 A (BRITISH INSULATED CALLENDERS) 5 October 1960 (1960-10-05) the whole document	1, 10
A	DE 433 421 C (SIEMENS SCHUCKERTWERKE GMBH) 2 November 1926 (1926-11-02) the whole document	1, 10

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 January 2004

Date of mailing of the international search report

03/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moueza, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/JP03/01488

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 850612	A	05-10-1960	NONE	
DE 433421	C	02-11-1926	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/CA 03/01488

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H02G7/16

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H02G

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	GB 850 612 A (BRITISH INSULATED CALLENDERS) 5 octobre 1960 (1960-10-05) le document en entier	1, 10
A	DE 433 421 C (SIEMENS SCHUCKERTWERKE GMBH) 2 novembre 1926 (1926-11-02) le document en entier	1, 10

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*G\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

26 janvier 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

03/02/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Moueza, A

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres des familles de brevets

Demande internationale No

PCT/93/01488

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 850612	A	05-10-1960	AUCUN	
DE 433421	C	02-11-1926	AUCUN	